

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA
Montevideo - URUGUAY**

**La Ecuación Universal
de Pérdida de Suelo**

por el

Ing. Agr. MICHEL H. KOOLHAAS

B letín N° 130

Octubre de 1977

Código 395/77

Depósito Legal 119.870/77

Koolhåas, Michel H.

La ecuación universal de pérdida de
suelo.- Montevideo, Facultad de
Agronomía, 1977.-

39 p. (Boletín, 130)

1. SUELOS - CONSERVACION

CDU - 631.459:517.942

RESUMEN

La ecuación universal de pérdida de suelo es una buena herramienta para determinar las prácticas de conservación de suelos y aguas más adaptadas a un campo particular. En este trabajo se define la ecuación, que puede ser reducida a unas pocas tablas de referencia en áreas geográficas definidas. La primera carta de is●-erodentas del Uruguay se obtuvo con el método de W.H. Wischmeier y del U.S. Agricultural Research Service. Los valores del índice de erosión por lluvia son los aplicables al factor lluvia R, de la ecuación de pérdida de suelo y tienen un rango de 240 a 600 en unidades métricas. El índice aumenta más rápidamente que la lluvia media anual.-

SUMMARY

The universal soil loss equation is a good tool for the selection of practices of soil and water conservation on an individual farm. This paper gives a definition of the equation; it can be reduced to use of a few reference tables derived for the particular geographic area. The first is●-erodent map of Uruguay was obtained by the method of W.H. Wischmeier and the U.S. Agricultural Research Service. The rainfall erosion index values are those that can be applied to the rainfall factor R, in the soil loss equation, and have a ranking from 240 to 600 in metric units. The index increases more quickly than the yearly average rainfall.-

INDICE

	<u>Página</u>
1.- La ecuación universal de pérdida de suelo. INTRODUCCION.....	1
2.- Antecedentes de la ecuación.....	3
3.- La ecuación de pérdida de suelo.-	
3.1.- El modelo de la ecuación.....	4
3.2.- El factor lluvia (R).....	5
3.3.- El factor erodabilidad del suelo (K)..	9
3.4.- El factor topográfico (LS).....	12
3.4.1.- Longitud de ladera.....	13
3.4.2.- Gradiente de pendiente.....	14

3.5.- El factor cultivo-manejo (C).....	14
3.6.- El factor práctica de conserva- ción (P).....	20
4.- Aplicaciones de la ecuación universal...	21
4.1.-Predicción de pérdida de suelo en una chacra.-..	
4.1.1.- Promedio de una rotación...	22
4.1.2.- Determinación del sistema de conservación más conve- niente.....	23
5.- Conclusiones.....	25
BIBLIOGRAFIA.....	27

Michel H. Koolhaas (8)

INTRODUCCION

El planeamiento científico de la conservación de suelos y aguas en un predio, requiere un conocimiento preciso sobre las relaciones entre los factores que provocan las pérdidas de suelo y agua. Mucha información con relación a estas complejas relaciones entre los factores, fué obtenida por el Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU. Esta información fué la base de las ecuaciones empíricas de predicción de pérdida de suelo.-

El uso de ecuaciones empíricas en el planeamiento conservacionista es de gran utilidad. En efecto, para establecer las mejores prácticas de control de la erosión adaptadas a las particulares necesidades de cada predio, es necesario disponer de una guía específica. El procedimiento que se presenta en este trabajo, la ecuación universal, proporciona tal guía. Esta nueva técnica, es el resultado de la combinación metódica de la información proveniente de unas 10.000 parcelas/años con la finalidad de proporcionar datos de diseño en planes de conservación (39, 41).-

Esta ecuación empírica de pérdida de suelo, es aplicable en cualquier localidad donde los valores numéricos de los factores sean conocidos o se puedan determinar (39).-

(8) *Ing. Agr., Asistente de Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.----*

Dos nuevos conceptos, el índice de erosión EI y la forma de evaluar el "factor cultivo-manejo" en función de la distribución mensual del índice EI, constituyen el punto medular del nuevo modelo de predicción.-

La ecuación universal "sepultó" las ecuaciones regionales anteriormente en uso en los EE.UU. (20,30,41,39). Un tipo similar de ecuación se desarrollaba hacia 1961 en Rhodesia (16), Gran Bretaña y la Unión Soviética. Asimismo, el modelo de predicción universal ha sido adaptado en Costa Rica (*) y en el Brasil se realizan esfuerzos en ese sentido (6).-

En este trabajo se presenta una descripción breve de este método y la carta de iso-erodentas del Uruguay de acuerdo al método de W.H. Wischmeier, creador de la ecuación universal (39, 35). Actualmente la información necesaria para adaptar el método a nuestras condiciones está limitada a lo relacionado con lluvias, por lo que la mayor fuente de error está prácticamente superada. Resta aún conocer, si el Uruguay tiene marcadas diferencias regionales en relación con la distribución de los aguaceros erosivos a lo largo del año y en caso de ser así, cual es la curva de distribución para cada una de esas regiones. Este tipo de información estará disponible para el próximo año, mediante un estudio de los índices EI mensuales de cada una de las 100 estaciones pluviométricas de la Red Básica de la Dir. General de Meteorología del Uruguay.-

(*) Amezcua Collazos, E. y Forsythe, W.M. Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo en Turrialba, Costa Rica. 5° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Medellín, Colombia, 1975, 30 pp.-

2. ANTECEDENTES DE LA ECUACION

Los primeros trabajos relacionados con ecuaciones de pérdida de suelo datan de 1940 en el Cinturón del Maíz de los EE.UU. El primer sistema desarrollado en esta región y que comprende el período 1940-1956, se conoció como el método de "slope-practice".-

Zingg(44), publicó una ecuación que relacionaba la longitud de ladera y el grado de pendiente. Basándose en esta ecuación, D.D. Smith (26) desarrolló un método gráfico de predicción agregando factores de práctica de conservación y cultivo. G. Browning et al. (8) crearon un sistema para uso en Iowa, incorporando a las ecuaciones anteriores factores de erodabilidad y manejo, con un conjunto de tablas para facilitar su uso en el campo.-

Coincidiendo con la aprobación general del valor de las ecuaciones de predicción, en 1946 se reunió un grupo de investigadores bajo la dirección de G. Musgrave, para instrumentar un sistema de aplicación regional más amplio. Este grupo reconsiderando todos los factores previamente propuestos adicionó un factor lluvia, la ecuación resultante se conoció como ecuación de Musgrave (6).-

La extensión de estas ecuaciones locales a nuevas áreas era seriamente cuestionable por las diferencias en distribución de lluvias, tipos de aguaceros a esperar, sistemas de producción y otras variables. Las limitaciones de estas ecuaciones, fueron superadas con el inicio a fines de 1950, de un programa de investigación dirigido a la creación de una nueva ecuación (34).- Esta nueva técnica tiene su origen en el Centro de Computación de la Universidad Purdue en Indiana, EE.UU. La ecuación universal ha tenido muchos contribuyentes y es el resultado de más de 25 años de investigaciones, la que continúa hasta nuestros días (39, 41, 43), para alcanzar mayor trascendencia sirviendo como guía de manejo a nivel regional, en zonas urbanas y en obras de ingeniería civil.-

3. LA ECUACION DE PERDIDA DE SUELO

3.1.- El Modelo de la Ecuación

El modelo de la ecuación es (1,36,39,41):

$A = R K L S C P$

donde A, es la cantidad de suelo perdido en tm/há para condiciones específicas de lluvia, suelo, topografía, cultivo-manejo y prácticas de conservación.-

R, es un índice del potencial erosivo de la lluvia y el escurrimiento asociado. Es igual al valor local del parámetro índice de erosión por lluvia EI.-

K, representa el factor erodabilidad de un suelo particular, es la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosión (R), de un suelo determinado en barbecho continuo cultivado, con 9% de pendiente y una longitud de ladera de 22.1 mts. Las razones de esta definición se explicarán en la discusión del factor.-

L, factor longitud de ladera, es la tasa de pérdida de suelo desde una ladera determinada con respecto a la que ocurre en una ladera de 22.1 mts. en el mismo tipo de suelo y con el mismo gradiente de pendiente.-

S, factor gradiente de pendiente, es la tasa de pérdida de suelo desde una ladera con pendiente determinada con respecto a una ladera cuyo gradiente es 9%.-

C, factor cultivo-manejo, es la tasa de pérdida de suelo desde una ladera con una específica sucesión de cultivos y manejo del suelo con respecto a suelo en barbecho continuo cultivado, en donde el factor K fué evaluado.-

P, factor práctica de conservación, es la tasa de pérdida de suelo con laboreo en contorno, fajas buffer, fajas alternas y terrazas con respecto a la labranza en dirección de la pendiente.-

3.2.- El factor lluvia (R)

La mayor diferencia entre la ecuación universal y las precedentes, radica en la precisión y la manera con que las diferencias de lluvia por localidad son contempladas en los cálculos. El factor lluvia en la ecuación de pérdida de suelo es igual al índice de erosión reportado por Wischmeier en 1959 (35).-

Wischmeier y Smith (41) demostraron que la pérdida de suelo no es necesariamente proporcional a la mayor cantidad de lluvia ni a una específica duración de intensidad de lluvia. El análisis exploratorio de regresión múltiple, de la gran cantidad de datos de lluvia y pérdida de suelo realizado en el "Runoff and Soil Loss Data Center" (34), permitió encontrar una variable simple para predecir la pérdida de suelo en barbecho continuo cultivado. Esta variable fué el índice EI, producto de la energía cinética total de un aguacero por su máxima intensidad en 30 minutos.-

Los valores de esta variable se pueden obtener del estudio de las bandas de un pluviómetro registrador y con la ayuda de una tabla de la energía cinética de la lluvia, publicada en 1958 (42). La suma de los valores calculados para cada aguacero erosivo en un determinado período de tiempo es una medida numérica de la erosividad de la lluvia en ese período.-

El índice de erosión por lluvia EI en una localidad es el verdadero promedio (período de retorno de 2 años) de los totales anuales, de los valores EI por aguacero. Estos valores del índice por localidad no son directamente proporcionales a la cantidad de lluvia, si lo son es por casualidad.-

En la figura 2 se presenta el mapa de iso-erodentas del Uruguay. Iso-erodentas son líneas que unen puntos con igual erosividad media anual de la lluvia. El índice de erosión mide sólo el efecto de la lluvia separada de todos los demás factores que influyen en la erosión. El mapa nos dice que, si el suelo y la topografía fueran iguales en todas partes, las pérdidas medias anuales de suelo en parcelas mantenidas en barbecho continuo cultivado, serían directamente proporcionales a los valores del índice de erosión.-

A continuación se describe brevemente el método empleado para establecer la carta de iso-erodentas. Se analizó una serie de 20 años, de bandas del pluviógrafo de la Estación Meteorológica "El Prado" en Montevideo, para estimar precisamente el índice EI anual. Se utilizó la información obtenida para una serie de 30 años (19) sobre la intensidad máxima en 60 minutos para un período de retorno de 2 años.- Con la información de máxima cantidad de lluvia en 24 horas, de las 100 estaciones pluviométricas de la D.G.M.U. se ajustó una función Gumbel mediante la ecuación general de Chow (3,9,10), con el objetivo de establecer la máxima precipitación probable en 24 horas para un período de retorno de 2 años.-

Posteriormente, para cada una de las 100 estaciones, se aplicó la siguiente ecuación de regresión derivada por Wischmeier (37):

I) ---- $EI_{\text{métrico}} = 1.735 \times [0.87 \times Q + 22]$; donde Q es el índice, resultado del producto de la máx. $I_{24 \text{ horas}} - 2 \text{ años} \times \text{máx. } I_{60 \text{ min.}} - 2 \text{ años} \times \text{lluvia media anual.}$
expresando todos los valores en pulgadas.-

La carta de iso-erodentas en los EE.UU. (37,1,41) se obtuvo por análisis de 181 pluviómetros registradores y en 1.700 localidades se utilizó una ecuación de regresión semejante a (I). En efecto, Wischmeier encontró que el producto de los 3 parámetros de la lluvia señalados anteriormente (índice Q), estaban altamente correlacionados con el índice EI.-

ISO-ERODENTAS

Valores medios anuales del índice de erosión hídrica. (Factor lluvia, R, en la ecuación universal)

Realizado por: Ing. Agr. M. M. Kostiha - FACULTAD DE AGRONOMIA.
1977

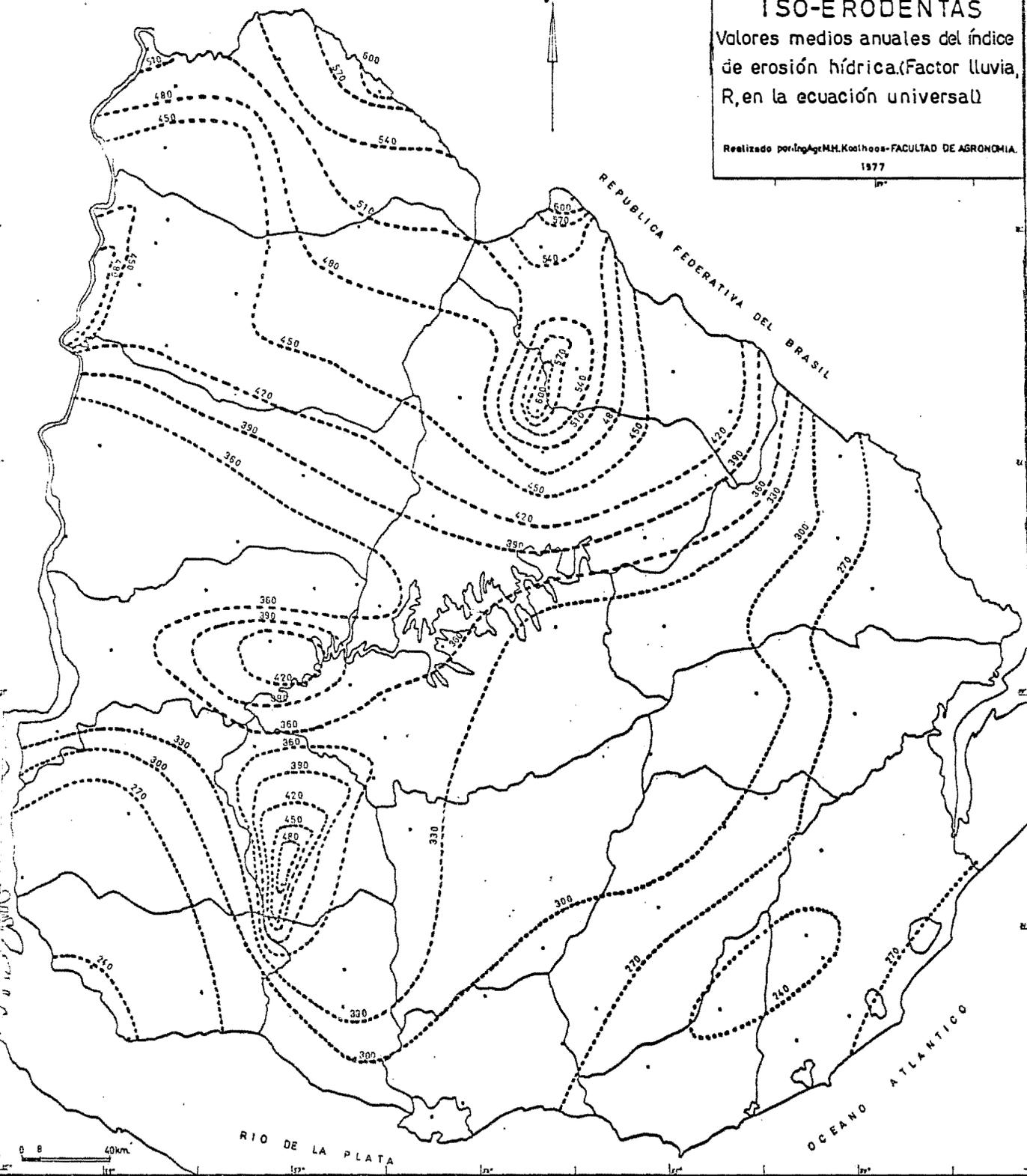


Figura 2. Promedio anual de valores del factor lluvia (período de retorno de 2 años).-

El producto de estos tres parámetros de la lluvia, explicó entre el 90% y 98.5% ($0.95 \leq r \leq 0.99$) de la varianza entre los índices EI, para toda el área comprendida al este de las Montañas Rocosas en los EE.UU.; la ecuación (I) es la regresión correspondiente.-

Por tanto, la carencia en nuestro país de información pluviográfica suficiente y confiable, se suplantó por la metodología señalada (18). A modo de ejemplo y justificación, la estimación del índice EI en Montevideo, sin utilizar el análisis de bandas y con la información proporcionada por (19), conduce al resultado siguiente:

$$I_{24 \text{ horas}} = 3,68 \text{ mm/hora} \rightarrow 88,44 \text{ mm} \rightarrow 3,48 \text{ pulg.-}$$

$$I_{60 \text{ min.}} = 30,70 \text{ mm/hora} \rightarrow 30.70 \text{ mm} \rightarrow 1,21 \text{ pulg.}$$

$$\text{lluvia media anual} = 1012 \text{ mm} \rightarrow 39,84 \text{ pulg.}$$

$$\text{índice } Q = 167,76 (3,48 \times 1,21 \times 39,84); \text{ por tanto}$$

$$EI_{\text{métrico}} = 1.735 [0.87 \times 167.76 + 22] = 291.4 \text{ siendo}$$

el calculado por el análisis de bandas, $EI_{\text{métrico}} = 295$, como se observa en el cuadro 1.-

Cuadro 1.- Rango observado y valores del índice de erosión al 50%-20%-10% y 5% de probabilidad.-

Localidad	Rango observado	50%	20%	10%	5%
Montevideo	142 - 490	295	416	497	576

En la figura 1 se ilustra la gráfica de la curva ajustada (cuadro 1) y los puntos EI anuales de acuerdo a su frecuencia de ocurrencia. Los EI anuales se ajustaron a una densidad de probabilidad log-normal (3,7,9,10) igual que la mayoría de los datos hidrológicos y pluviométricos.-

En la figura 3, se muestra la curva de distribución del índice de erosión, en la misma es preciso aclarar que el porcentaje acumulado es hasta el 1° de cada mes.-

Cuadro 2.- Distribución porcentual media del índice EI
mensual (Prado) (18)

	<u>EI</u>	<u>%</u>	<u>% acumulado</u>
Enero	37	12.5	0
Febrero	34	11.5	12.5
Marzo	22	7.5	24.0
Abril	23	7.8	31.5
Mayo	25	8.5	39.3
Junio	23	7.8	47.8
Julio	17	5.8	55.6
Agosto	18	6.1	61.4
Setiembre	19	6.4	67.5
Octubre	22	7.5	73.9
Noviembre	29	9.8	81.4
Diciembre	26	8.8	91.2
	<u>295</u>	<u>100.0</u>	

En el cuadro 4, se muestra la distribución del tamaño de los aguaceros observados. En los 20 años, el número total de aguaceros erosivos fué de 526, lo que da un número medio de lluvias erosivas de 26 por año. Se definen como aguaceros, en razón de la más alta correlación observada con las pérdidas de suelo (34,35), las lluvias mayores a 13 mm. separadas en el tiempo por 6 horas. En San Pablo, Brasil, se consideraron como aguaceros las lluvias mayores a 10 mm. separadas en el tiempo por 6 horas (6).- Datos no publicados, obtenidos en la Facultad de Agronomía en este año, confirman que definir los aguaceros en esta forma es correcto.-

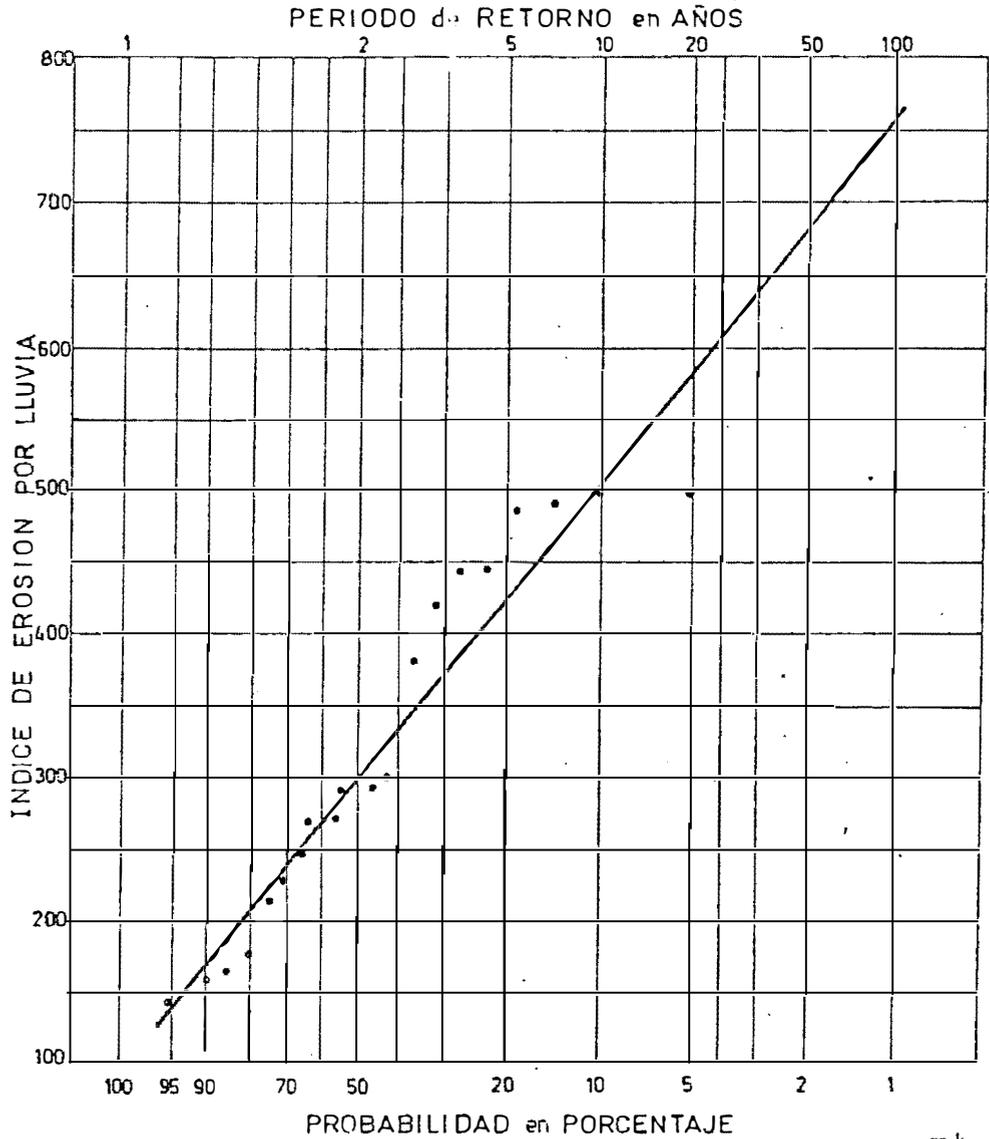


Fig.1-Curva de probabilidad del índice de erosión anual en el "Prado".
 Los puntos graficados son $m/(n+1)$. Curva basada en bandas de 20 años. m.k.

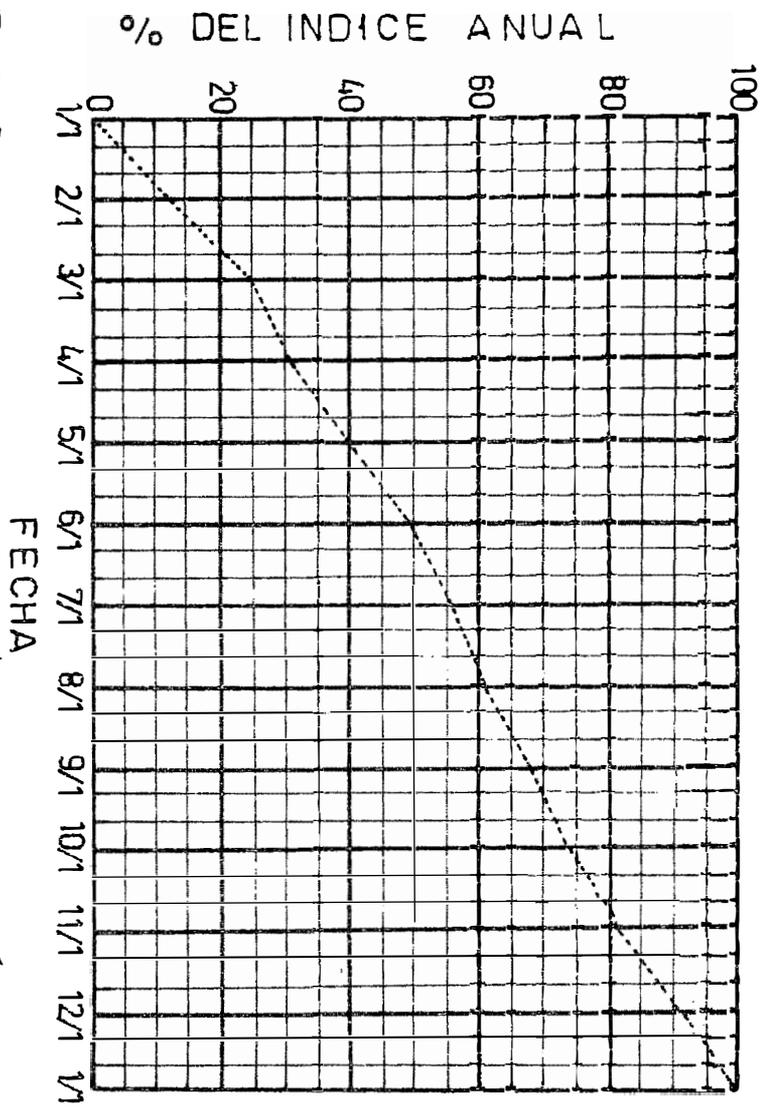


Fig.3.- Curva de distribución del índice de erosión.

Cuadro 4. Distribución del tamaño de los aguaceros. (18)

<u>Índice EI</u>	<u>%</u>	<u>% acumulado</u>
1 - 5	19	19
6 - 10	40	59
11 - 15	17	76
16 - 20	10	86
21 - 30	8	94
31 - 40	2	96
41 - 50	2	98
51 - 60	1	99
61 - 70	0.4	99.4
71 - 80	0.4	99.8
81 - 90	0.2	100.0

Se puede comprobar también, que la distribución del tamaño de los aguaceros es una función log-normal, tal como fué reportado por Wischmeier (35).-

3.3 El factor erodabilidad del suelo (K)

De acuerdo con Wischmeier y Smith (41), la tasa de erosión de un suelo en cualquier área, está más influenciada por la topografía, características de las lluvias, cobertura vegetal y el manejo del suelo, que por las propiedades mismas del suelo.-

Algunas de las propiedades que influyen en la erodabilidad de un suelo, son las relacionadas con la capacidad de infiltración, y por tanto relacionadas con la cantidad y tasa de escurrimiento; y otras que influyen en la capacidad para resistir la separación de las partículas por la caída de las gotas de lluvia ("splash erosion") y el transporte por el escurrimiento asociado con la lluvia (40). Las interrelaciones entre estas variables es altamente compleja(41,43).- ,

En la ecuación de predicción los efectos de la lluvia, pendiente y longitud de ladera, cobertura vegetal, y el manejo del suelo son contemplados con los factores R, L, S, C y P. Por tanto, el factor erodabilidad del suelo, K, debe ser evaluado independientemente de los efectos de los demás factores.-

Una medida directa del factor es muy costosa y requiere mucho tiempo bajo condiciones naturales. Por ello se avanzó mucho en ese sentido, después de la creación del "rainulator" (24), el mejor simulador de lluvia natural construido hasta la fecha para trabajo experimental de campo. En efecto, basta producir unas pocas lluvias de distintos potenciales erosivos EI sobre los suelos a estudiar, para conocer el rango de variación de la erodabilidad de los mismos.-

El factor erodabilidad, en la ecuación, se define como la cantidad de suelo perdido por unidad de índice EI. La parcela unidad donde este factor se mide, es de 22,1 mts. y 9% de pendiente, en barbecho continuo cultivado y trabajada en el sentido de la pendiente. Por barbecho continuo cultivado, se entiende, un suelo arado, disqueado, carpido y mantenido libre de vegetación por un período de por lo menos dos años. Durante el período de medición del factor, la parcela se debe mantener en la condición común de preparación de una sementera, aradas y disqueadas a dis-
creción (1,40,41).-

Por tanto, cuando todas las condiciones señaladas anteriormente se verifican, entonces cada uno de los factores, L,S,C y P toman el valor 1,0 y K es igual a A/EI. Por ello K es el único factor de la ecuación que tiene unidades, Tm/há/EI. Finalmente, se debe señalar que los factores K para la ecuación universal representan valores medios anuales.-

Teniendo en cuenta la dificultad en evaluar este factor para un gran número de suelos, la popularidad creciente y aceptación (*) (28,29,30) de la ecuación universal

(*) Resource Conservation Glossary, Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa, 1970.-

en los EE.UU., Wischmeier y Mannering (40) idearon un método de evaluación en base a propiedades físicas y químicas.- Este método fué mejorado posteriormente diseñándose un nomograma para el cálculo del factor (43).-

Los autores mencionados (40), encontraron un modelo lineal que proporcionaba un ajuste casi perfecto entre las pérdidas de suelo y 24 variables relacionadas con propiedades físicas y químicas fácilmente evaluables. Este modelo para encontrar K fué testeado con los valores de K asignados a los suelos de las primeras 10 Estaciones Experimentales en Conservación de Suelos (25). La coincidencia casi perfecta, no diferían en más de 0.03, entre los valores previamente establecidos y los obtenidos con la ecuación prueban la bondad de ese modelo.-

Por combinación y agrupamiento de términos más significativos con la erodabilidad, ese modelo lineal complicado fué reducido al siguiente:

$$K_{\text{aprox.}} = [(0.043\text{pH} + 0.62/\text{m.org.} + 0.0082 a - 0.0062 c) \\ \times \text{limo}/100] \times 1,292$$

donde c = relación de arcilla.-

a = porcentaje de arena

m. org. = porcentaje de materia orgánica
después del barbecho continuo
cultivado.-

1.292 = factor de corrección para expresar
K en unidades métricas.-

Asignando valores medios a la ecuación (II) y asumiendo un pH medio igual a 6, se elaboró el cuadro 5, que representa valores medios anuales hipotéticos, a modo de guía.-

Cuadro 5.- Valor de K en función del porcentaje de arena, limo y materia orgánica y relación de arcilla.-

Textura	Porcentaje de Materia Orgánica					
	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
Arc. limoso	0.95	0.57	0.44	0.38	0.34	0.32
Arc. arenoso	0.20	0.13	0.11	0.10	0.10	0.09
Franco Arc. Limoso	1.12	0.68	0.53	0.46	0.42	0.39
Franco Arc. arenoso	0.36	0.25	0.21	0.19	0.18	0.17
Franco	0.94	0.62	0.52	0.46	0.43	0.41
Franco arcilloso	0.81	0.53	0.43	0.39	0.36	0.34
Franco arenoso	0.53	0.37	0.32	0.29	0.27	0.26
Franco limoso	1.39	0.87	0.70	0.61	0.56	0.53
Arenoso franco	0.28	0.20	0.18	0.16	0.16	0.15
Arcilloso	0.50	0.32	0.26	0.23	0.21	0.20

Wischmeier y Mannering señalaron, que desde el punto de vista de la erodabilidad, ninguna de las clasificaciones texturales (USDA y Sistema Internacional) eran satisfactorias. Ello quedó confirmado en 1971 (43), en que, en un estudio de 55 suelos, se encontró que el producto del porcentaje de partículas entre 2 y 100 micras y el porcentaje entre 100 micras y 2 mm., puede explicar el 85% de la variación de la erodabilidad K del suelo, tal como aparece en la ecuación universal de pérdida de suelo.-

3.4.- El Factor Topográfico (L S)

La erosión del suelo por el agua está muy influenciada por la longitud y el gradiente (porcentaje) de pendiente. En las investigaciones, ambos factores se analizaron separadamente, pero en la práctica es más favorable considerar-

los como uno solo.-

El factor LS se define como la relación de pérdida de suelo por unidad de área en una chacra en pendiente, con respecto a la unidad de 9% de gradiente y 22,1 mts. de longitud.-

El factor topográfico se resuelve fácilmente por un diagrama (41,42) del que se presenta una adaptación en escala logarítmica, en la figura 4.- Valores de LS para porcentajes de pendiente no mostrados en el nomograma se pueden calcular de:

$$\text{III) } \text{----- } LS = \sqrt{\ell} \frac{(1.38 + 0.96 s + 0.138 s^2)}{100}$$

donde ℓ = longitud de ladera en mts.-

s = porcentaje de pendiente.-

3.4.1.- Longitud de ladera

La longitud de la pendiente de un terreno se define como la distancia desde el punto de origen del escurrimiento directo sobre el terreno hasta:

- a) el punto donde la pendiente disminuye en modo tal que comienza el depósito, o
- b) el punto donde el agua de escurrimiento penetra en un canal bien definido, que puede pertenecer a una terraza, a un cauce de desviación o a un drenaje natural.-

Los estudios en parcelas han mostrado que la erosión es proporcional a alguna potencia m de la longitud de pendiente. Como el factor L es la relación de pérdida de suelo con respecto a una ladera de 22,1 mts., el valor de L se puede expresar como $(\ell/22,1)^m$, donde ℓ es la longitud de ladera y m se determina a partir de los datos experimentales. El valor medio de m en los estudios bajo lluvia natural fué 0.5 y este es el valor con que se realizó el nomograma de la figura 4. (27, 28).-

El valor de m puede estar significativamente afectado por las propiedades del suelo, tipo de vegetación, prácticas de manejo y el porcentaje de pendiente. Así, para pendientes mayores al 10%, Wischmeier y Smith (41,27) recomiendan usar un valor de 0.6 para m . En cambio, para pendientes muy largas y de menos de un 0.5% recomiendan un valor de 0.3.-

3.4.2.- Gradiente de Pendiente

Zingg en 1940 estableció que las pérdidas de suelo varían con la potencia 1.4 del porcentaje de pendiente (44). En 1946, en la ecuación de Musgrave se propuso la potencia 1,35. Sin embargo, Smith y Wischmeier (27) basándose en todos los datos disponibles hasta ese momento y por el análisis estadístico, establecieron la relación parabólica:

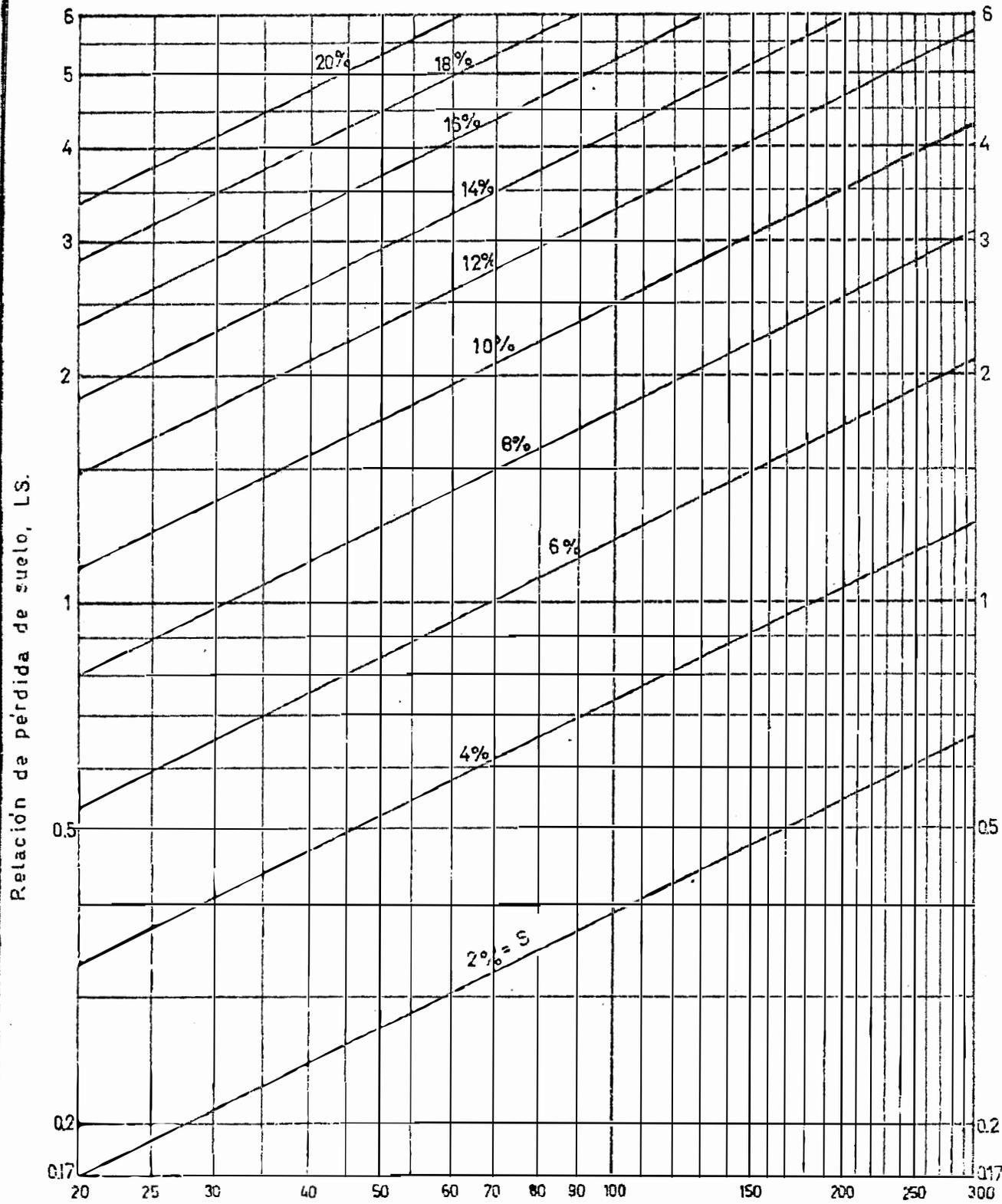
$$IV) \text{ ----S} = (0,065 + 0.045 s + 0.0065 s^2); \quad \text{donde}$$

s es el porcentaje de pendiente , y

S es el factor pendiente.-

3.5.- El Factor Cultivo - Manejo (C)

El factor C en la ecuación de pérdida de suelo, es la relación de pérdida de suelo en un campo con un cultivo y manejo específico con respecto a barbecho continuo cultivado. La cobertura vegetal y el manejo del suelo tienen gran influencia en la tasa de infiltración y la susceptibilidad de un suelo a erosionarse. La mejor cubierta vegetal es una pastura densa muy bien manejada. La erosión más severa, como es sabido, ocurre cuando los períodos de suelo desnudo en una rotación coinciden con los aguaceros más erosivos.-



Longitud de pendiente, L, en mts.

EL FACTOR TOPOGRAFICO-LS- (Wischmeier y Smith, 1965)
 Adaptó: M.H. Koolhaas, 1977.-

Figura 4.- Nomograma del factor topográfico.-

Meyer y Mannering (23) encontraron que, 2,3 Tm/há de "mulch" bastaron para reducir la pérdida de suelo a un 2.5% de la que ocurría sin "mulch"; y 1 Tm/há de "mulch" reducía la pérdida de suelo a un 8%. Con laboreo mínimo, se incrementa la tasa de infiltración y se reduce la erosión en los períodos críticos de preparación de la sementera y establecimiento de un cultivo (13,23).-

La pérdida de suelo que ocurriría en una ladera particular si fuese mantenida en barbecho continuo cultivado, se obtiene multiplicando en la ecuación los factores R K L S. Pero sabemos que en la práctica en esa ladera no se darán esas condiciones particulares y la erosión debe ser menor a la indicada por aquel producto. Justamente cuanto menos, depende de la particular combinación de tipo de vegetación, secuencia de cultivo, fase vegetativa del mismo y manejo del rastrojo.-

Para estudiar el efecto de estos factores con las pérdidas de suelo, Wischmeier dividió el desarrollo de los cultivos en 5 fases, donde en cada una de ellas los efectos de cobertura pueden ser considerados uniformes. Sobre esta base las pérdidas de suelo en parcelas cultivadas fueron comparadas con aquellas en barbecho continuo, comparación en idénticas condiciones de lluvia, suelo y topografía. De este estudio sobre información de 10.000 parcelas-año (34), cerca de un cuarto de millón de datos de aguaceros individuales, surgió una tabla de relaciones de pérdida de suelo (36) y luego otra más extensa de 130 alternativas (41). En este trabajo se presenta una tabla semejante, donde se omitió información referente a mínimo laboreo y secuencias que no se dan en nuestras condiciones, y sobre las cuales no existe información nacional.-

En resumen, la información procesada (27,36,41) permite concluir que:

- * las pérdidas de suelo decrecen con el incremento de los rendimientos de los cultivos.-
- * la reducción de pérdida de suelo en cultivo carpido después de una pradera, es directamente proporcional al rendimiento de la pradera.-

- * cuanto mayor es el período en que un suelo está bajo pastura bien manejada, mayor es la reducción de erosión en cultivos carpados posteriores.-
- * la mezcla de gramíneas y leguminosas es siempre más efectiva que leguminosas puras.-

Las fases vegetativas donde los efectos de cubierta pueden ser considerados uniformes son:

- Período 0 - Barbecho preparativo, desde la aradura a la siembra.-
- " 1 - Siembra, desde la siembra hasta un mes después.-
 - " 2 - Establecimiento, desde uno a dos meses después de la siembra.-
 - " 3 - Desarrollo y maduración, desde el fin del período 2 hasta la cosecha.-
 - " 4 - Rastrojo, desde la cosecha hasta la aradura o nueva siembra.-

La tabla del cuadro 6, es el resultado del análisis de los datos de investigación más confiables (36) y en 1965(41) no se consideraba totalmente satisfactoria. Por supuesto que para nuestras condiciones habrá que incluir otros sistemas no considerados.- La tabla de valores originales considera cultivos como el algodón de poca difusión en nuestro medio y para soja y sorgo recomienda entrar en las líneas correspondientes a maíz. Valores adaptados a nuestras condiciones, será posible obtener mediante la aplicación de lluvias artificiales mediante el rainulator (24), del que experiencias semejantes se tiene en otros países.-

Para el uso de la tabla a fin de evaluar el factor C, se entra en la misma de acuerdo con el cultivo y su secuencia, manejo del rastrojo, nivel de producción y sistema de laboreo (en este caso sólo convencional). Dentro de la al-

Cuadro 6 RELACION DE EROSION ENTRE CAMPOS CULTIVADOS Y BARBECHO CONTINUO

Línea No.	Secuencia y Manejo	Rendimiento tm/ha	Período de Cultivo					
			0	1	2	3	4L	4R
	Maíz y Sorgo		%	%	%	%	%	%
1	Continuo, RdR.....	3.0 +	80	85	60	30	-	70
2	Continuo, RdR.....	2.0-3.0	80	85	70	35	-	75
3	Continuo, RdR.....	-2.0	85	92	80	50	-	82
4	Continuo, RdL.....	3.0 +	35	63	50	26	30	-
5	Continuo, RdL.....	2.0-3.0	55	70	58	32	50	-
6	Continuo, RdL.....	-2.0	70	76	64	38	65	-
1o. Año Maíz después de WC								
7	.....	4.0 +	8	25	17	10	15	35
8	.....	3.0-4.0	10	28	19	12	18	40
9	.....	2.0-3.0	15	30	27	15	22	45
10	.....	1.0-2.0	23	40	38	25	35	60
11	.....	-1.0	23	40	43	30	45	65
2o. Año Maíz después de WC								
12	Maíz anterior RdR.....	4.0 +	62	70	54	26	-	70
13	Maíz anterior RdR.....	2.0-4.0	65	72	57	29	-	70
14	Maíz anterior RdR.....	2.0	70	75	70	45	-	80
15	Maíz anterior RdL.....	4.0 +	35	54	45	24	28	-
16	Maíz anterior RdL.....	2.0-4.0	42	57	49	28	42	-
17	Maíz anterior RdL.....	-2.0	46	62	54	30	50	-
3o. o 4o. Año después de WC o 2o. Año después de SG								
18	Maíz anterior RdR.....	4.0 +	70	78	54	27	-	62
19	Maíz anterior RdR.....	2.0-4.0	75	80	60	30	-	70
20	Maíz anterior RdR.....	-2.0	75	80	70	35	-	75
21	Maíz anterior RdL.....	4.0 +	36	63	50	26	30	-
22	Maíz anterior RdL.....	2.0-4.0	45	66	54	29	40	-
23	Maíz anterior RdL.....	-2.0	55	70	58	32	50	-
24	Maíz después de SG.....		Seleccionar de las líneas 18 a 23					
<u>Granos pequeños (trigo, avena, lino, etc.)</u>								
Después de 1 año C después de WC								
25	.....	3.0 +	-	20	12	2	2	-
26	.....	2.0-3.0	-	30	18	3	2	-
27	.....	1.0-2.0	-	41	25	4	2	-
28	.....	-1.0	-	60	36	5	3	-
Después de 2o. o 3er. Año C después WC								
29	.....	3.0 +	-	32	19	5	3	-
30	.....	2.0-3.0	-	40	24	5	3	-

Cuadro 6 (Continuación - Pag. 2)

Línea No.	Secuencia y Manejo	Rendimiento tn/há	Período de Cultivo					
			0	1	2	3	4L	4R
			%	%	%	%	%	%
31	.....	1.0-2.0	-	58	35	10	3	-
32	.....	-1.0	-	75	45	10	3	-
	Después de 1 Año o más C después SG							
33	.....	Elegir de las líneas 29 a 32						
	<u>Cultivos Asociados</u>							
34	Trigo y leguminosa sin pastoreo.....	-	-	25	25	5	5	-
35	Trigo y leguminosa, pero pastoreada.....	-	-	25	25	12	6	-
	<u>Pradera Establecida</u>							
36	Gramíneas y leguminosas.....	Buena	-	-	-	-	0,4	-
37	Gramíneas y leguminosas.....	Regular	-	-	-	-	0,6	-
38	Gramíneas y leguminosas.....	Mala	-	-	-	-	1,0	-
39	Alfalfa.....	-	-	-	-	-	2,0	-
	<u>Pradera Estableciéndose</u>							
40	.....	-	22	20	12	2	2	-
	<u>Papa</u>							
41	Papa después de papa.....	15.0+	33	48	48	28	65	-
42	Papa después de papa.....	10.0-15.0	36	56	52	30	65	-
43	Papa después de papa.....	5.0-10.0	42	63	55	32	65	-
44	Papa después de papa.....	-5.0	70	76	64	38	65	-
45	Papa después de WC.....	-	23	40	38	25	35	-
46	Papa después de SG.....	-	23	40	43	30	45	-
	<u>Maní</u>							
47	Maní después de pradera.....	-	15	32	30	19	30	50
48	Maní 2o. Año después WC.....	-	35	54	45	24	28	65
49	Maní 3o. Año después WC o 2o. Año después SG	-	45	66	54	29	40	70

Referencias

C = cultivo carpido, maíz, sorgo, soja, girasol.
 WC = pradera natural o artificial, gramíneas o gramíneas + leguminosas.
 SG = cultivos densos o de grano chico, trigo, avena, lino, cebada.
 RdR = rastrojo retirado del campo.
 RdL = rastrojo del cultivo anterior dejado.

ternativa seleccionada, en la misma fila encontramos los factores en las columnas correspondientes a las fases vegetativas definidas por Wischmeier (36). Cada uno de estos factores se debe combinar con la distribución porcentual en el año del índice EI, correspondiente a la época del año en que se efectúan las operaciones como arada, siembra, etc. Esta forma de evaluar el factor es el segundo elemento que da universalidad a la nueva ecuación (1).-

A continuación se muestra un ejemplo de evaluación del factor C, de una sucesión de cultivos realizada por un agricultor.-

Problema: deseamos evaluar C por una sucesión de cultivos de 4 años de soja-trigo-sorgo-trigo, partiendo de un campo natural. Se hacen los siguientes supuestos: el rendimiento medio es de 1.5 tm/há de trigo, 2.5 tm/há de sorgo y 1.2 tm/há de soja.-Los rastrojos serán dejados en el campo e incorporados luego de las cosechas; empezando la preparación de tierras en setiembre para soja y sorgo, en junio para trigo y cosechamos soja y sorgo durante abril y trigo en diciembre.-

Procedimiento: Se prepara una tabla a 8 columnas como la que se muestra.-

TABLA PARA HALLAR EL FACTOR C DE UNA ROTACION

(1) Operación	(2) Fechas	(3) De cuadro 2 o fig. 3 %	(4) Período de cultivo	(5) EI %	(6) Valor de cuadro 6.	(7) (5)x(6)	(8) Valor C
Arada,soja	1/9	67,5	-	-	-	-	
Siembra	1/11	81,4	0	13,9	23,0 (10)	0,032	
+ 30 siembra	1/12	91,2	1	9,8	40,0	0,039	
+ 60 siembra	1/1	100,0	2	8,8	38,0	0,033	
Cosecha	15/4	135,2	3	35,2	25,0	0,088	
Rastrojo	15/6	151,5	4	16,3	35,0	0,057	0,249
Siembra,trigo	1/8	161,4	0	9,9	0 (27)	-	
+ 30 siembra	1/9	167,5	1	6,1	41,0	0,025	
+ 60 siembra	1/10	173,9	2	6,4	25,0	0,016	
Cosecha	1/1	200,0	3	26,1	4,0	0,010	
Rastrojo	1/8	261,4	4	61,4	2,0	0,012	0,063
Siembra,sorgo	1/11	281,4	0	20,0	45,0 (24)	0,090	
+ 30 siembra	1/12	291,2	1	9,8	66,0	0,065	
+ 90 siembra	1/2	312,5	2	21,3	54,0	0,115	
Cosecha	15/4	335,2	3	22,7	29,0	0,066	
Rastrojo	1/6	347,8	4	12,6	40,0	0,050	0,386
Siembra,trigo	1/8	361,4	0	13,6	0 (31)	-	
+ 30 siembra	1/9	367,5	1	6,1	58,0	0,035	
+ 60 siembra	1/10	373,9	2	6,4	35,0	0,022	
Cosecha	1/1	400,0	3	26,1	10,0	0,026	
Rastrojo	1/9	467,5	4	67,5	3,0	0,020	0,103
Rotación total							
4 años				400,0			0,801
Valor anual de C							0,200

Referencias: (de la tabla para hallar el factor C de una rotación, de la página 18).-

- (2) Son las fechas en que terminan los sucesivos períodos del cultivo, tal como han sido definidos anteriormente.-
- (3) Son los valores de R en % acumulado hasta la fecha indicada en (2) y de acuerdo a la distribución del índice EI en la zona (hasta el momento sólo para Montevideo).-
- (4) Identifica el período del cultivo que termina con la fecha indicada en la misma fila.-
- (5) Es el valor de EI en %, obtenido del cuadro 2 o de la figura 3.-
- (6) Es el valor obtenido del cuadro 6. Los números entre paréntesis indican las líneas donde se encuentran los valores.-
- (7) Es el % de EI en cada período x el valor parcial de C en dicho período.-
- (8) Es el valor de C para cada cultivo, en base a la distribución anual de EI en Montevideo.-
El último valor representa el C medio anual

Debe quedar claro, que todos estos cálculos no se requieren cada vez que se realicen recomendaciones conservacionistas. Estos cálculos deberán ser hechos en las Estaciones Experimentales, para confeccionar así tablas adaptadas a las condiciones geográficas y del área de influencia de cada una de ellas. Esto es lo que se hizo en los EE.UU. (29,30), incluso con los modelos obsoletos de predicción (8,28).-

3.6.- El Factor Práctica de Conservación (P)

Este factor considera aquellas prácticas que se realizan en las chacras, con la finalidad de reducir el escurrimiento directo en velocidad y por tanto disminuir su capacidad de transportar suelo. En la ecuación se presupone que se han realizado canales colectores o de desagüe estabilizados, con sus dimensiones adecuadas al volumen de escurrimiento que se puede esperar (19,31,32). Por ello, se asignan valores sólo al laboreo en contorno, en fajas buffer, en fajas alternas y en terrazas.-

El factor P en la ecuación, es la relación de pérdida de suelo con prácticas mecánicas y la pérdida de suelo con laboreo en el sentido de la pendiente.-

La práctica mecánica más efectiva de controlar es el sistema de terrazas, ya sean convencionales, paralelas (5), bancales o alguna modificación de éstas (28).- Con el terrajeo, la longitud de pendiente es el espacio entre terrazas y por ello, se debe recurrir al factor topográfico LS, para el factor P a asignar en cada caso particular.-

Si dividimos una ladera en cuatro segmentos iguales, la tasa de pérdida de suelo se reduce a la mitad; si dividimos en seis segmentos la tasa esperada se reduce a 0.41. Todas estas reducciones se reflejan en la ecuación por la modificación del factor LS. De acuerdo con Wischmeier y Smith (41,42), los valores asignables a cada una de las prácticas serían:

Cuadro 7.- Valores del factor P, para cultivo en contorno, fajas buffer y fajas alternas.-

<u>% de pendiente</u>	<u>Cultivo en contorno</u>	<u>Fajas buffer</u>	<u>Fajas alt</u>
1.1 - 2.0	0.60	0.46	0.30
2.1 - 7.0	0.50	0.38	0.25
7.1 - 12.0	0.60	0.46	0.30
12.1 - 18.0	0.80	0.61	0.41
18.1 - 24.0	0.90	0.68	0.41

En el caso de terrazas, el factor a utilizar depende del intervalo horizontal medio de las mismas. De manera que con esa longitud de ladera, se busca en el nomograma para la pendiente del campo, cual es el factor que corresponde. Finalmente, como las terrazas se cultivan en contorno, se asigna a P el valor correspondiente según cuadro 7.- Por tanto, la efectividad de las terrazas dependerá del espaciamiento entre ellas, descontándose que los cauces han sido calculados para transportar el volumen de escurrimiento que es de esperar (19,31,32).-En el caso de terraza bancal, también se modifica la pendiente y por lo tanto el contralor de la erosión es todavía mayor.-

4.- Aplicaciones de la Ecuación Universal

Previamente se debe establecer una guía de límites de erosión aceptables o tolerancias. Con (41), aceptamos un rango de límites de 2 a 12 tm/há/año, elaborando el siguiente criterio tentativo:

	tm/há/año
Suelo superficial sobre basalto y cristalino.....	2
Suelo más profundo sobre basalto y cristalino.....	5
Suelo c/subsuelo de baja permeabilidad	8
Suelo c/subsuelo de moderada permeabilidad.....	10
Suelo c/subsuelo permeable.....	12

4.1.- Predicción de pérdida de suelo en una chacra.-

4.1.1.- Promedio de una rotación.-

Se efectuará un ejemplo con la figura 5, que corresponde al potrero 24 de la Estación Experimental de Paysandú. Suponiendo que el sistema de cultivo del ejemplo para hallar el factor C de una rotación se aplicara al referido potrero; y tomando para K un valor de 0.46 en función de la textura y del nivel de materia orgánica que alcanzaría ese suelo después de barbecho continuo cultivado por dos o más años. De la figura 2, se obtiene para Paysandú un $R=350$. Ahora bien, para evaluar el factor topográfico de esta chacra tenemos tres opciones. Pero, la vaguada natural se descarta de inmediato, por su gran longitud y baja pendiente ($LS=0.93$; $\lambda=500$ mts, $s=2,2\%$).

De las laderas restantes, una es de 400 mts. y $3,5\%$ ($LS=1,29$) y la otra es de 200 mts. y 5% ($LS=1.36$). Por tanto, nos quedamos con este último valor que es el más alto y de esta manera no desestimamos la erosión. Si hubiésemos elegido el factor topográfico más bajo, tenderíamos a favorecer la erosión en la porción de la chacra más susceptible desde el punto de vista topográfico.-

Sustituyendo los símbolos de la ecuación por los valores correspondientes:

$A = 350 \times 0.46 \times 1.36 \times 0.20 = 43.79$ tm/há/año, si cultivamos en el sentido de la pendiente;

$A = 350 \times 0.46 \times 1.36 \times 0.20 \times 0.5 = 21.90$ tm/há/año cultivando en contorno;

$A = 350 \times 0.46 \times 1.36 \times 0.20 \times 0.38 = 16.64$ tm/há/año cultivando con fajas buffer.-

Se puede ver entonces que ninguna de estas prácticas mecánicas de conservación pueden mantener las pérdidas dentro de un rango tolerable, con el sistema de producción asumido.-

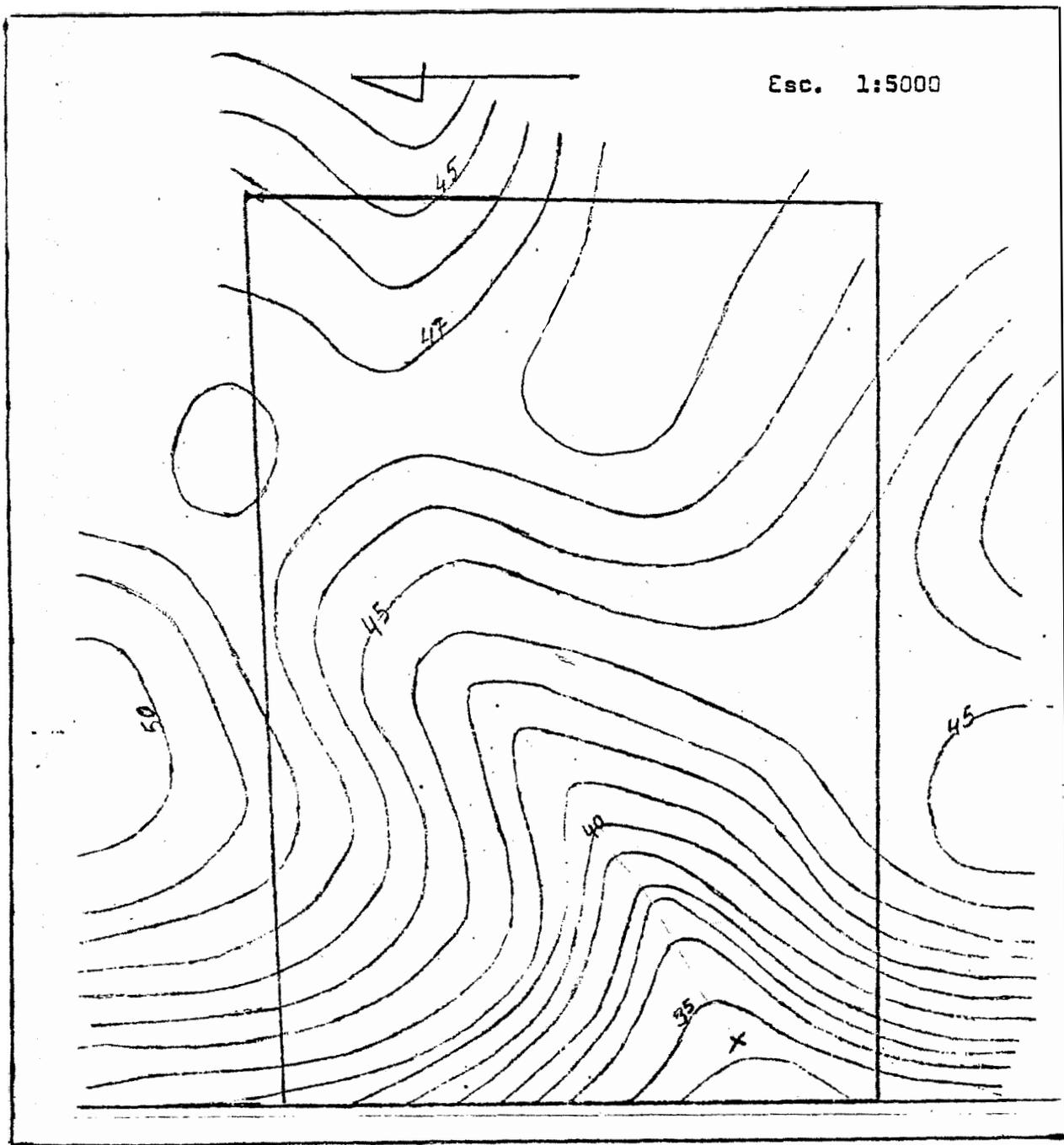


Figura 5. Potrero N° 24 de la Estación Experimental Paysandú.

4.1.2.- Determinación del sistema de conservación más conveniente.-

Las decisiones de manejo, como es fácil ver, pueden afectar sólo a los factores C y P.-El factor L sólo es modificado por el terraceo y S únicamente en las terrazas bancal y sus modificaciones ("Zingg Bench Terrace"), pero en las condiciones del Uruguay el factor S, no es modificable.-

Cuando la erosión se quiere acotar al máximo valor permisible o tolerable T, el término A en la ecuación es reemplazado por T y la ecuación es reescrita en la forma

$$\frac{T}{R K L S} = CP \quad \text{Si el valor tolerable de pérdida de suelo, para el potrero 24, es igual a 10 tm/há/año, entonces,}$$

$$\frac{10}{350 \times 0.46 \times 1.36} = 0.0457$$

- si P = 1.0..... C ≤ 0.046
- si P = 0.5..... C ≤ 0.091
- si P = 0.38..... C ≤ 0.120
- si P = 0.18..... C ≤ 0.254

Queda claro que cuando apliquemos prácticas mecánicas de conservación más efectivas, podremos utilizar más intensamente el suelo sin problemas. En nuestro ejemplo, para producir el sistema planteado debemos terracear la chacra.-

Como el extensionista en conservación normalmente trabaja en una zona, él tendrá que manejar sólo uno o dos valores de R, una curva de distribución del índice EI, valores de K y T para algunos suelos de su zona y una tabla con valores de C para las rotaciones usadas. Todo esto proporcionaría la información que él necesitaría, para guiar en la selección de prácticas de conservación en su trabajo de extensión.-

En el cuadro 8, se proporciona una de las varias tablas posibles de elaborar para uso en el campo.-

Cuadro 8. Máximos valores permisibles de C (T/ RKLS) para la pendiente y longitud de ladeara que se indican, con líneas de cultivo en sentido de la pendiente y en contorno; para los suelos con los factores K, T y R señalados.-

Para un tipo de suelo con K=0.46 y T=10 o K=0.368 y T=8 o K=0.552 y T = 12 y R = 350.-

Gradiente (%)	longitud de pendiente en metros								
	20	25	30	40	50	60	100	150	200
líneas en el sentido de la pendiente, P=1.0.-									
2	0.36	0.32	0.29	0.25	0.23	0.21	0.16	0.13	0.11
3	0.25	0.23	0.21	0.18	0.16	0.15	0.11	0.09	0.08
4	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.08	0.07	0.06
5	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04
6	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.05	0.04	0.04
líneas en contorno, P = 0.5									
2	0.72	0.64	0.59	0.51	0.46	0.42	0.32	0.26	0.23
3	0.50	0.45	0.41	0.36	0.32	0.29	0.23	0.18	0.16
4	0.37	0.33	0.30	0.26	0.24	0.22	0.17	0.14	0.12
5	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17	0.13	0.10	0.09
6	0.23	0.20	0.19	0.16	0.14	0.13	0.10	0.08	0.07

Retomando el ejemplo del potrero 24, es claro que para producir el sistema planteado debemos terracear. Como $C=0.20$ y en terrazas se laborea en contorno, se busca ese valor en el cuadro 8 y para 5%, longitud de ladera = 40 metros. Pero como este es un valor límite elegimos una longitud de ladera de 30 metros. Por tanto, como

$$\frac{\text{I. vertical}}{\text{I. horizontal}} = \text{pendiente}; \text{ entonces I.V. (m)} = 0.05 \times 30 = \\ = 1.5 \text{ metros.-}$$

Podemos aún, ser más conservacionistas y elegir una longitud de ladera de 25 metros y por tanto un intervalo vertical de 1.25 metros.-

Si el productor no quiere hacer terrazas por razones económicas u otras, no queda otra solución que buscar una sucesión de cultivos cuyo C sea menor a 0.09. Quiere decir que se optará por un uso menos intensivo del suelo, con otra ordenación o con pasturas.-

5.- CONCLUSIONES

Más de 20 años de experiencia, de los técnicos del Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU. en el uso de ecuaciones empíricas, demostraron que estos modelos son la mejor herramienta que ellos han utilizado (1,2,29,30,41). Prueba de ello es, la regla de cálculo confeccionada en 1963 (29) para la aplicación regional, en Tennessee, de la ecuación de predicción. Si en el Uruguay se quiere hacer conservación seriamente, se tendrá que seguir la experiencia norteamericana.-

La obtención de la carta de iso-erodentas, permitirá un uso más seguro de la ecuación universal, en nuestras condiciones. Es necesario, para mejorar y aumentar la precisión del sistema, determinar la erodabilidad de nuestros sue-

los, tal como se entiende en la ecuación de pérdida de suelo. Esta tarea ardua de investigación, necesariamente, deberá incluir el uso de simuladores de lluvia natural, para producir información valedera con certeza y rápidamente.-

Las aplicaciones presentadas, representan el enfoque básico, original, de los modelos de predicción. Las aplicaciones más sofisticadas de la ecuación, tendrán su lugar, cuando este modelo universal sea reconocido ampliamente, como una técnica de valor práctico.-

BIBLIOGRAFIA

1) AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE

1961. A universal equation for predicting rainfall erosion losses. ARS Special Report 22-66 U.S. D.A., Washington, D.C.

2)

1961 A universal equation for measuring wind erosion. ARS Special Report 22-69. U.S.D.A. Washington, D.C.

3) ANDREWS, R.G.

1957 Aids for determining runoff probability. Agr. Engineering 38(3): 164-167.-

4) BARNETT, A.P.

1958 How intense rainfall affects runoff and soil erosion. Agri. Engineering 39(11): 703-707.-

5) BEAVSLEY, R.P. y MEYER, L.D.

1957 New terrace construction technique.- Agr. Engineering 38(1): 32-36.-

6) BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F y BENATTI, R.

1975 Equacao de perdas de solo. Secretaria da Agric. do Estado de Sao Paulo. Bol. Téc. N°21

7) BRAKENSIEK, D.L.

1958 Fitting a generalized log-normal distribution to hydrologic data.-Trans. Amer. Geoph. Union 39(3): 469- 473.-

8) BROWNING, G.M., PARISH, C.L. y GLASS, J.A.

1947 A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa.- American Soc. Agron. Jour. 39:65-73.-

9) CHOW, V.T.

1951 A general formula for hydrologic frequency analysis.- Trans. Am. Geoph. Union (32)2: 231-237.-

- 10) _____
1964 Handbook of applied hydrology
McGraw-Hill, New York, N.Y.-
- 11) DOOGE, J.C.I.
1973 Linear theory of hydrologic system.
Agr. Res.Serv. U.S.D.A. Tech. Bull.N°1468
- 12) EKERN, P.C.
1951 Raindrop impact as the force initiating
soil erosion. Soil Sci. Soc. Am. Proc.
15:7-10.-
- 13) FREE, G.R.
1960 Erosion characteristics of rainfall.-
Agr. Engineering 41(7):447-449,455
- 14) FOSTER, E.
1948 Rainfall and runoff. McMillan, New York,
N.Y.-
- 15) GUNN, R y KINZER, G.
1949 The terminal velocity of fall for water
droplets.-
Journ. Metereol. 6:243-248.-
- 16) HUDSON, N.W.
1961 Proc. Trans. Rhodesian Sci.Assoc. 29 Pt.
I. (En Rainfall Erosion, Smith y Wisch-
meier. Advances in Agronomy. Academic
Press. New York, N.Y. 1962).-
- 17) KINELL, P.I.A.
1973 The problem of assesing the erosive power
of rainfall from metereological observa-
tions.- Soil Sc. Amer. Proc., 37:617-621
- 18) KOOLHAAS, M.H.
1977 El potencial erosivo de la lluvia en Uru-
guay. Facultad de Agronomía, Montevideo,
Uruguay. (no publicado).-
- 19) _____
1977 Intensidad-duración-frecuencia de la llu-
via en el Prado. Facultad de Agronomía,
Montevideo, Uruguay. (no publicado).-

- 20) LAWS, J.O.
1941 Measurement of fall velocity of water drops and rain drops. Trans. Amer. Geoph. Union 22:709-721.-
- 21) _____ y PARSONS, D.A.
1943 The relation of rain drops to intensity.- Trans. Amer. Geoph Union 24:452-459.-
- 22) LLOYD, C.H. y ELEV, G.W.
1952 Graphical solution of probable soil loss formula for Northeastern Region. Jour. Soil and Water Conserv. 7:189-191.-
- 23) MEYER, L.D. y MANNERING, J.V.
1961. Minimum tillage for corn: its effect on infiltration and erosion.- Agr. Engineering 42:72-75,86.-
- 24) _____ y McCUNE, D.L.
1958 Rainfall simulator for runoff plots.- Agr. Engineering 39(10):644-648.-
- 25) OLSON, T.C. y WISCHMEIER, W.H.
1963 Soil-erodability evaluations for soils on the runoff and erosion stations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:590-592.-
- 26) SMITH, D.D. y WHITT, D.M.
1948 Evaluating soil losses from field areas.- Agr. Engineering 29:394-396.-
- 27) _____ y WISCHMEIER, W.H.
1957 Factors affecting sheet and rill erosion.- Trans. Amer. Geoph. Union 38: 889-896.-
- 28) _____ y _____
1962 Rainfall erosion. Advances in Agronomy, v. 14, pp. 109-148. Academic Press, Inc., New York, N.Y.-
- 29) SPRINGER, D.K., BREINING, C.B. y SPRINGER, M.E.
1963 Predicting soil losses in Tennessee.- Jour. Soil and Water Conserv. 18(4):157-158.-
- 30) THORESON, A.S. y MADDY, J.K.
1963 Using the soil loss equation in Iowa.- Jour. Soil and Water Conserv. 18(4):159-160

- 31) U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE
1971 Ponds for water supply and recreation.-
Agr. Handbook N° 387, U.S.D.A.
- 32) _____
1971 National Engineering Handbook, Hydrology,
section 4. Part. I Watershed Planning.U.
S.D.A.
- 33) VAN DOREN, C.A. y BARTELLI, L.J.
1956 A method of forecasting soil losses.-
Agr. Engineering 37:335-341.-
- 34) WISCHMEIER, W.H.
1955 Punched cards record runoff and soil-loss
data.- Agr. Engineering 36:664-666.-
- 35) _____
1959 A rainfall erosion index for a universal
soil-loss equation. Soil Sci. Soc. Amer.
Proc. 23:246-249.-
- 36) _____
1960 Cropping-management factor evaluations for
a universal soil-loss equation. Soil Sci.
Soc. Amer. Proc. 24:322-326.-
- 37) _____
1962 Rainfall erosion potential.-
Agr. Engineering 43:212-215.-
- 38) _____
1962 Storms and soil conservation. Jour. Soil
and Water Conserv. 17(2):55-59.-
- 39) _____
1976 Use and misuse of the universal soil-loss
equation. Jour. Soil and Water Conserv.
31(1): 5-9.-
- 40) _____ y MANNERING, J.V.
1969 Relation of soil properties to its erodabi-
lity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:131-137

- 41) _____ y SMITH, D.D.
1965 Rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for Soil and Water Conservation. Agr. Res. Serv. U.S.D.A. Agr. Hand. N° 282.-
- 42) _____, SMITH, D.D. y UHLAND, R.E.
1958 Evaluation of factors in the soil loss equation. Agr. Engineering 39(8): 458-462, 474.-
- 43) _____, JOHNSON, C.B. y CROSS, B.V.
1971 A soil erodability nomograph for farmland and construction sites.- Jour. Soil and Water Conserv. 26(5) 189-193. (En W. Forsythe, Física de suelos, IICA, Costa Rica, 1975).-
- 44) ZINGG, A. W.
1940 Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agr. Engineering 21:59-64.-
-